

## **Конспект лекций по инженерной геологии**

для обучения по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

*Направление 08.06.01 Техника и технологии строительства*

*Направленность - Основания и фундаменты, подземные сооружения*

### **Лекция 1. Введение. Организация и планирование инженерно-геологических работ**

#### **1.1 Основные понятия об инженерно-геологическом обосновании строительства. Влияние деятельности человека на геологические процессы.**

**Введение.** Задачей геологических исследований является получение исходных данных, необходимых для проектирования объектов водоснабжения и канализации: водозаборов, станций подготовки воды, трубопроводов, канализационных коллекторных тоннелей, очистных сооружений. Сложность и многообразие объектов водоснабжения и канализации, поверхностных, подземных, линейных, особая санитарная и экологическая ответственность предъявляют к геологическому обоснованию подобных объектов особые требования.

В процессе выполнения геологических исследований изучаются геологические, геоморфологические и гидрогеологические условия, современные инженерно-геологические процессы и явления, параметры водоносных горизонтов, свойства горных пород. Результаты изучения геологических условий позволяют выбрать место водозабора, лучшие участки для строительства и эксплуатации объектов, обосновать меры защиты природной среды от воздействия сооружаемых объектов и защиты объектов от природных процессов. Материалы исследований позволяют сделать выводы о необходимости улучшения свойств грунтов методами технической мелиорации, составить представление о наличии строительных материалов.

#### ***Основные понятия об инженерно-геологическом обосновании строительства.***

Геологические исследования для обоснования строительства (инженерно-геологические изыскания) заканчиваются инженерными выводами, в которых устанавливаются глубина заложения фундаментов и трубопроводов, величина допустимого давления на грунт и давления грунта на заглубленные объекты, прогнозируемые устойчивость сооружений, осадки. Инженерные выводы из геологических исследований для обоснования подземных водозаборов и охраны подземных вод (гидрогеологических исследований) указывают водоносные горизонты, из которых возможен забор воды, причем указываются дебит скважин, химические и санитарные характеристики воды, меры по защите подземных вод от загрязнения существующими и вновь возводимыми объектами.

#### ***Организация и планирование инженерно-геологических работ***

Исследования ведутся в основном до проектирования, но продолжают-ся и в период строительства путем сверки фактических данных при откопке

котлованов, траншей, проходке тоннелей с материалами более ранних исследований. В случае необходимости назначаются дополнительные изыскания. Геологические исследования могут потребоваться и в процессе эксплуатации объектов в случае возникновения деформаций, иных отклонений эксплуатационных параметров, объектов от проектных.

Объем геологических исследований определяется стадией проектирования, сложностью обстановки, конструктивными характеристиками проектируемого объекта.

Проектирование объектов водоснабжения и канализации обычно валится в два этапа. На первом этапе, именуемом "**Проектное задание**", определяются местоположение объекта, его основные эксплуатационные параметры. Этому этапу проектирования соответствуют **предварительные** инженерно-геологические исследования, результатом которых является карта инженерно-геологического районирования территории. На этом этапе проектирования и изысканий часто используется метод инженерно-геологических аналогий, то есть прогнозирование свойств грунтов и водоносных горизонтов осваиваемой территории по аналогии с хорошо изученными сходными по геологическому строению участками. На втором этапе проектирования (этап "**Рабочее проектирование**") составляются рабочие чертежи объектов, которые содержат детальные размеры фундаментов, элементов оборудования водозаборных скважин и т.д. Этому этапу соответствуют **детальные** геологические исследования, которые должны обеспечить достаточно достоверную информацию о строении грунтовой толщ и о свойствах грунтов под каждым фундаментом, в месте расположения каждой эксплуатационной скважины проектируемого водозабора.

К районам с **простыми** инженерно-геологическими условиями относятся районы, сложенные горизонтально залегающими пластами, выдержанными по мощности и имеющими однородный литологический состав. Породы на отметках заложения фундаментов находятся в зоне аэрации, такие явления, как карст, оползни, просадки и другие, отсутствуют. В районах с условиями **средней сложности** породы залегают линзообразно, не выдержаны по мощности, на отметках заложения фундаментов нередко обводнены. Местами наблюдаются карст, просадки, оползни и пр. Геологический разрез в районе **со сложными** инженерно-геологическим и условиями очень изменчивый. Отмечается нарушенность залегания пород. В разрезе присутствуют прослои и линзы пород с низкой несущей способностью. Породы обводнены, развиты напорные воды. Широко развиты карст, просадки, оползни и пр.

***Влияние деятельности человека на геологические процессы. Сравнение геологической деятельности человека и природных геологических процессов.***

«Последние тысячелетия, и в особенности последний век, характеризуются все более возрастающим вмешательством человека в установившееся в течение двух с половиной миллиардов лет квазистационарное состояние, именуемое гармонией жизни в природе» [1]. Техническая деятельность чело-

века сделалась мощным геологическим фактором, который массово проявляется при строительстве зданий и сооружений. В начале XIX века в городах проживало 2% населения Земли. В наше время эта доля достигает половины, а в некоторых странах 75-80% и более.

Согласно принятой геохронологии, мы живем в четвертичном периоде геологической истории, длительность которого оценивается от 700 тыс. лет до 2,5-3,5 млн. лет. Четвертичный (ледниковый или антропогенный) период подразделяется на плейстоцен (*греч.* – наибольший) и голоцен (*греч.* – новый (последледниковый)).

Голоцен длится примерно 10200 лет. За это время происходили изменения в природе, отчасти и в геологической среде. Но никогда скорость их не достигала таких значений, как в последние века. Усилилось физическое и химическое выветривание горных пород (в Донецком бассейне мощность коры выветривания измеряется тысячами метров), увеличилось количество обломочного материала (в бассейне Курской магнитной аномалии годовая выработка горной массы превышает 50 млн. м<sup>3</sup>), возникли горно-промышленные ландшафты Донбасса, Кузбасса, Кривого Рога, Курской магнитной аномалии, Урала, Хибин, Рура, Пенсильвании, Южного Уэльса и др.

Значительные изменения претерпевает положение уровня грунтовых вод в связи со строительством водохранилищ, гидромелиорации, накопления подземных вод под застроенными территориями. Это приводит к интенсификации влажностных деформаций грунтов оснований сооружений.

Изменения рельефа при строительстве приводит часто к активизации гравитационных явлений: обвалов, оползней, селей.

Примеры процессов и явлений, как природных, так и техногенных, изменяющих геологическую среду, можно множить до бесконечности. Важно понимать их масштабы и связь с окружающей средой любого, даже самого малого, воздействия человека на нее [2]. Все получит отклик, все отзовется может быть не самым благоприятным для человека образом. «Техническая деятельность человека преследует часто только удовлетворение ближайших экономических и милитаристских интересов и не учитывает отдаленных инженерно-геологических и экологических последствий, и поэтому результаты некоторых его действий могут оказаться непредсказуемыми и катастрофическими для жизни на Земле» [1].

Задачей инженерно-геологического обоснования строительства является надежный прогноз взаимодействия сооружений с геологической средой. Инструментами решения этой задачи являются, в первую очередь, наблюдения и эксперименты, затем – моделирование и расчеты. Все этапы решения должны быть диалектически связаны между собой. Опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений, инженерная практика в целом дают критерии правильности результатов.

## **1.2 Инженерно-геологические процессы и явления.**

**Выветривание** (нем. Wetter - погода), или гипергенез, представляет собой процесс глобального воздействия внешних подвижных геосфер (атмо-,

гидро- и биосферы) на горные породы суши Земли, при котором видоизмененные породы и Продукты разрушения остаются на месте, создавая кору выветривания. Уточняя, можно сказать, что выветривание - это процесс физического разрушения и химического разложения горных пород в зоне аэрации под воздействием колебаний температуры, воды, почвенных растворов углекислоты и кислорода воздуха, растений и животных организмов. Различают физическое, химическое и биологическое выветривание.

На Земле температурное выветривание мощно проявляется в областях с резко континентальным климатом, где велика разница суточной и годовой температуры. В пустыне поверхность Земли нагревается сильнее, чем воздух, причем амплитуда суточной температуры ее достигает  $100^{\circ}\text{C}$ , Поэтому там образуются поражающие величиной шлейфы осыпей и каменных развалов у скалистых возвышенностей и песчаные накопления на равнинах.

**Химическое выветривание** производится водой, углекислотой и кислородом воздуха путем растворения и гидролиза.

**Биологическое выветривание.** Низшие растения (мхи, лишайники), поселяясь на скалах, непосредственно разрушают минеральный субстрат, получая вещества для своего роста. Высшие растения делают это с помощью почвы, в которой накапливаются продукты жизнедеятельности организмов и которая постоянно вырабатывает углекислоту и агрессивные органические кислоты, главные агенты биохимического разложения пород. Можно сказать, что жизнь на земле и разрушение горных пород организмами - это две стороны одного процесса, совершающегося многие сотни миллионов лет.

Следствием выветривания является образование **кор выветривания**, вещество которых называют **элювием**. Снизу элювий представлен разборной скалой омелькоземом по трещинам, в средней части - преимущественно щебенистым материалом; ближе к поверхности, в зависимости от климата, отмечаются либо неоднородная смесь щебня, дресвы, песка и пыли с глиной, либо более или менее чистая глина (там, где преобладает химическое выветривание).

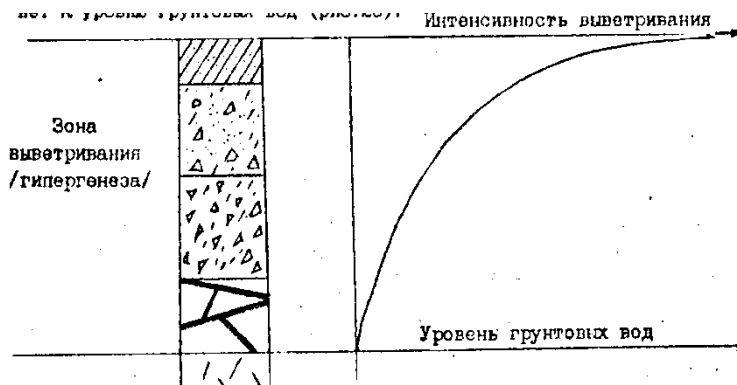


Рис. 1. Изменение интенсивности выветривания с глубиной

Под **карстом** принято подразумевать выщелачивание растворимых пород, а, кроме того, также те поверхностные формы рельефа и подземные полости, которые при этом образуются. Таким образом, словом "карст" обозна-

чают и процесс, и его результат. Различают карбонатный карст и соляной, развивающийся в гипсе и каменной соли.



Рис.2. Формы карбонатного карста

Современный карстовый процесс на карбонатных породах не представляет большой опасности для сооружений, так как развивается медленно и эксплуатационные сроки сооружений несоизмеримы с угрожающим развитием карста. Важно выявить уже существующие полости и, если они оказываются в опасной близости от фундамента сооружения, закрепить бетоном или другим материалом.

**Гипсовый карст** распространен в Поволжье, на Уфимском плато, на юге Иркутской области, в некоторых районах Средней Азии и Карпат, т.е. там, где распространены соленосные формации пород, залегающие вблизи поверхности Земли.

Растворимость гипса составляет 2 г/л, и процесс развития карста на нем идет быстро, затухая лишь по мере насыщения воды сульфатом кальция. Гипсовый карст не зависит от газовой компоненты и поэтому более предсказуем. Для развития его нужна лишь циркуляция ненасыщенной сульфатом кальция воды в гипсовой залежи. Опасны быстро возникающие подземные пустоты, на месте которых образуются провальные воронки, конечные формы гипсового карста (рис.30).

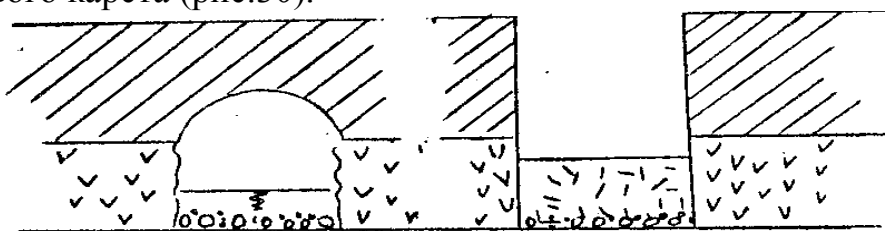


Рис.30. Образование провальной воронки (Поволжье)

Суффозия в узком смысле этого термина означает механический вынос частиц из скелета грунта проходящим по поровому пространству водами, а также вынос их в растворенном виде из засоленных грунтов.

В более широком смысле суффозия представляет собой образование карверн и полостей, проседание земной поверхности за счет этого. В первую очередь, механического выноса. Наиболее часто суффозия поражает перекопанный грунт, обратную засыпку, насыпной слой, т.е. грунты, находящиеся в рыхлом состоянии.

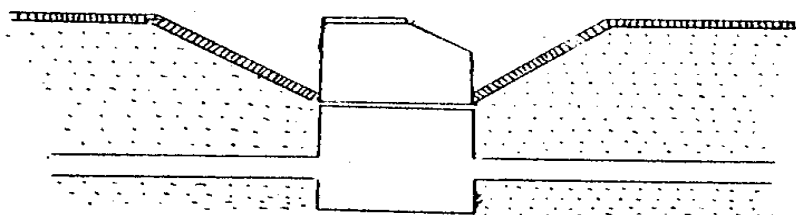


Рис.32. Колодец, обнаруженный суффозией

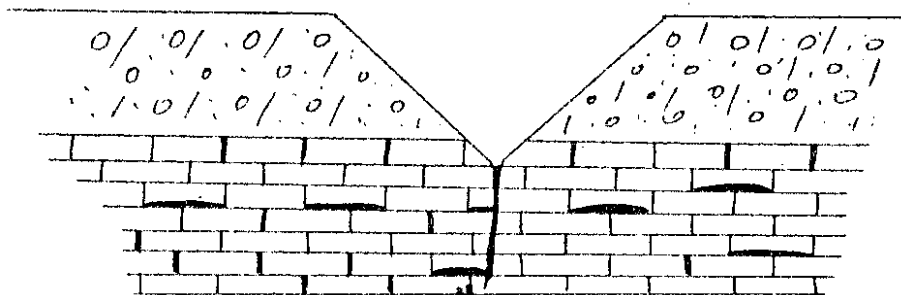


Рис.34. Суффозионная воронка на карстующихся известняках

При откопке котлованов, траншей, шурфов и бурении скважин в водонасыщенных грунтах часто встречаются с превращением их в текучую массу, суспензию, стремящуюся растечься и заполнить собой выработанное пространство. Эта песчано-глинистая суспензия называется пльвун. Пльвун обладает способностью удерживать во взвешенном состоянии некоторое время не только глинистые частицы, но и песчаные и даже куски ненарушенной породы, которые увлекаются за значительные расстояния. Эта, большая, чем у воды, взвешивающая способность объясняется большим удельным весом пльвуна (до 2 г/см<sup>3</sup>). Она сохраняется до тех пор, пока частицы грунта не перестанут перемещаться относительно друг друга (эффект Жуковского).

**Осыпью** называется накопление обломков горных пород, отделившихся в результате выветривания и перемещенных благодаря силе тяжести. Осыпи образуются в виде конусов, прислоненных к склону. Самые крупные осыпи образуются в высокогорье у подножия склонов, сложенных флишем, монотонно переслаивающимися песчаниками, алевролитами и аргиллитами.

Обвал представляет собой внезапное обрушение массива горных пород, сопровождающееся его дроблением и свободным падением обломков в уплотненном воздухе.

**Оползень** представляет собой отрыв земляных масс и медленное смещение их вниз по одной или нескольким поверхностям скольжения под действием силы тяжести.

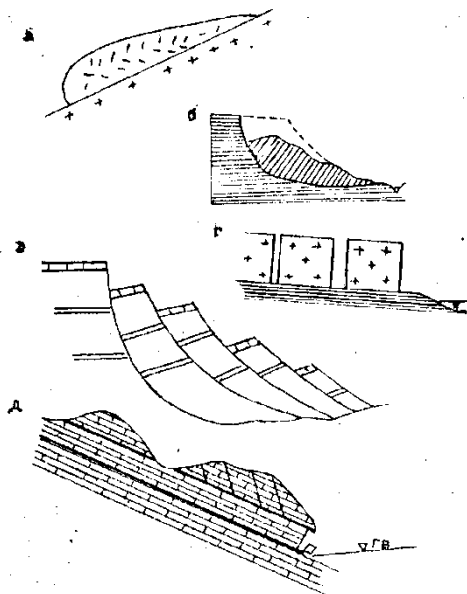


Рис.40. Виды оползней

## Лекция 2. Полевые и лабораторные исследования горных пород и подземных вод

### 3.1.2.1. Задачи и объем инженерно-геологических исследований. Выбор эффективных методов инженерно-геологической разведки.

Полевые опытные работы и стационарные наблюдения проводятся для определения механических и фильтрационных характеристик пород в условиях их естественного залегания и выявления характера развития тех или иных процессов (режима грунтовых вод, оседания построенных сооружений и т.д.). Штамповые погружения в шурфах и скважинах, сдвиги оконтуренных в массиве грунтовых призм, нагружение стенок скважин внутренним давлением (прессиометрия) позволяют определить показатели сжимаемости и прочности грунтов более достоверно, чем на лабораторных образцах.

### 3.1.2.2. Инженерно-геологическая съемка, разведка, геофизические работы.

**Инженерно-геологическая съемка** - это комплексное изучение геологических условий строительства на территории. Съемка начинается с маршрутного обследования территории, которое планируется на основе анализа топографической карты территории и имеет целью выявление и изучение обнажений горных пород, которые наиболее вероятны на крутых склонах, изучение геоморфологии с целью установления инженерно-геологических процессов и явлений: оползней, карста, суффозии, просадок и других, выявление проявлений: источников, мочажин, заболоченных участков, уровень в которых может служить индикатором уровня грунтовых вод. Важным элементом маршрутного обследования является анализ опыта мест строительства (а при выполнении гидрогеологических исследований - местных водозаборов), типов фундаментов, наличии деформаций, дебита и колебаний уровня воды в колодцах. По результатам маршрутного обследования намечаются дополнительные буровые, опытные и другие работы полевого этапа, необходимые для

полного выявления этического и гидрогеологического строения района в объеме, соответствующем - этапу проводимых геологических исследований.

Среди геофизических методов в инженерной геологии и гидрогеологии получили применение гамма-каротаж, сейсмическое профилирование, электрическое зондирование.

### **3.1.2.3. Полевые испытания грунтов, стационарные наблюдения, лабораторные работы.**

При гидрогеологических исследованиях полевые опытные работы и наблюдения являются основным источником информации. Для определения водонепроницаемости пород применяются опытные откачки, нагнетания в скважины, наливывы в шурфы и скважины.

Метод опытных откачек состоит в откачке воды из скважины, сопровождающейся систематическими наблюдениями за дебитом скважины и уровнем воды в ней, а также отбором проб воды. Опытные откачки бывают одиночные и кустовые. При одиночной откачке наблюдения за изменениями уровня ведутся в той же скважине, из которой ведется откачка. Откачки для определения коэффициента фильтрации ведутся на два или три понижения уровня. На каждой ступени понижения откачку ведут с постоянным дебитом до стабилизации уровня, при этом максимальная величина понижения уровня должна быть не более половины мощности водоносного горизонта. По известному дебиту и понижению уровня из формулы Дюпюи вычисляется коэффициент фильтрации. При кустовых откачках наблюдения за параметрами депрессионной воронки при откачке в одной скважине ведутся в нескольких наблюдательных скважинах; при этом получают более достоверные сведения.

Опытные нагнетания проводятся в том случае, когда нужно определить проницаемость определенного слоя пород. Метод заключается в том, что определенный интервал скважины перекрывается сверху и снизу и в него попадает вода.

Водопроницаемость верхних слоев грунтовой толщи может быть определена методом налива в шурфы.

### **3.1.2.4. Инженерно-геологические карты, разрезы, описание грунтов.**

Раздел "Геологическая изученность" служит в значительной мере обоснованию полевых исследований, иногда, весьма дорогостоящих. По любому району России в настоящее время имеются многочисленные и разнообразные геологические материалы, характеризующие его инженерно-геологические условия. Учет их совершенно необходим, поскольку они являются базой дальнейших исследований. Раздел этот важен и как основание для разрешения имеющих иногда место разногласий между геологами и строителями в оценке качества стройплощадок - в нем суммируется опыт всего предшествующего периода работ в рассматриваемом районе.

Третий раздел содержит описание рельефа местности и геологический процессов, свершающихся в нем. В том случае, когда это описание произво-



дится всесторонне и, главное, на генетической основе, раздел называют геоморфологическим очерком по науке геоморфологии, щей формы земной поверхности, их происхождение и развитие. Если же просто констатируют то или иное устройство поверхности, то раздел получает название "физико-географические условия". Следует иметь в виду, что геоморфологическое описание весьма способствует ее полной характеристике наиболее важных в строительном отношении рыхлых четвертичных отложений, поскольку их образование теснейшим образом связано с развитием рельефа. Как правило, этот раздел сопровождается геоморфологической картой.

### **3.1.2.5. Выделение инженерно-геологических элементов.**

Четвертый раздел "Стратиграфия" является одним из основных в отчете. Представляет собой последовательное описание горных пород, разделенных по возрасту. Горные породы здесь характеризуются прежде иного как геологические тела определенного состава, происхождения и возраста. Чтение этого раздела требует знания классификации пород и основных принципов установления последовательности залегания, напластования отложений (стратиграфии).

Стратиграфическое расчленение пород является первым этапом создания геологической карты, важнейшего документа, на базе которого производятся все инженерно-геологические исследования. В описание стратиграфического подразделения включаются все отмеченные изменения состава пород по площади. Особо выделяется воздействие на их состояние выветривания (гипергенеза). Читающий этот раздел должен иметь в виду, что строительные свойства пород определяются лишь совокупностью признаков и к главным из них относятся как раз состав, происхождение, возраст и гипергенные изменения.

Лабораторные исследования проб грунта проводятся для определения их гранулометрического состава, физических характеристик (удельного веса, влажности, влажности на границах пластичности и текучести, набухания, размокаемости, коэффициента фильтрации), механических характеристик (модуля деформаций при сжатии, сцепления, угла внутреннего трения). В лаборатории проводится анализ химического состава подземных вод, оценка степени их бактериальной зараженности (коли-фактор), жесткости и агрессивности по отношению к строительным материалам.

#### *Гранулометрический состав*

Гранулометрический состав является одной из важных характеристик рыхлых и глинистых грунтов.

Частицы одного размера или одной группы размеров (например, 0,05-0,005 мм) называют фракциями состава грунтов.

Процентное весовое содержание в породе различных по величине фракций называют гранулометрическим составом, получающимся на основании гранулометрического анализа.

Самым простым видом гранулометрического анализа является оптовой анализ. Разделение на фракции частиц породы, прошедших через сита с от-

верстиями менее 0,25 мм (0,25-0,10; 0,10-0,05; 0,05-0,005 и менее 0,005 мм), проводят методом отмучивания, основанным на законе Стокса.

Удельный вес грунта  $\gamma$  определяется как вес минеральной части воды в единичном объеме. Удельный вес скелета грунта есть вес сухого грунта, вес только его минеральной части в единице объема ( $\gamma_d$ ).

Удельный вес частиц представляет собой отношение удельного веса скелета к занимаемому им объему:

Влажность грунта  $W$  определяется как отношение веса воды к весу сухого грунта:

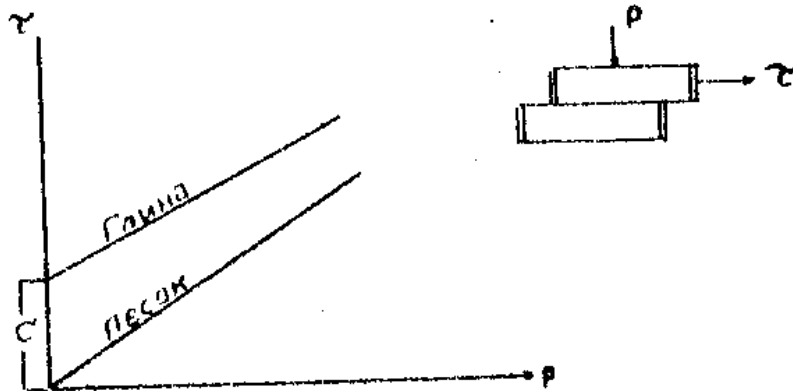
Глинистые грунты, как видно, обладают свойством пластичности, т.е. способностью изменять под внешним воздействием форму без изменения объема и сохранять ее. Грунты бывают пластичными только и в определенных пределах влажности.

Грунт	Число пла- стичности, $I_p$	Содержание глинистой фракции, %,
Супесь	0,01-0,07	3-10
Суглинок	0,07-0,17	20-30
Глина	> 0,17	> 30

Коэффициент сжимаемости как отношение изменения пористости к приложенной нагрузке:

$$m_0 = (e_0 - e)/P.$$

Прочность грунта



В случае песчаного грунта эта зависимость имеет вид

$$\tau = p \cdot \text{tg}\varphi,$$

где  $\varphi$  является углом внутреннего трения.

Когда испытывается глинистый грунт, то зависимость приобретает вид  $\tau = \text{tg}\varphi + C$ , где  $C$  - начальное сопротивление сдвигу или удельное сцепление грунта, которое вместе с углом внутреннего трения и является показателем прочности грунта.

### **Лекция 3. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий и принятие технических решений для подземных частей зданий и сооружений**

#### **3.1.3.1. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий.**

В первой его части отмечаются инженерно-геологические явления, представляющие практически важные следствия естественных геологических процессов, происходящих на застраиваемых территориях (такие как оползни, карст, просадки и т.д.). Проявления геологических процессов с генетической точки зрения должны быть описаны в предыдущих разделах. Здесь же оценивается их влияние на конкретное сооружение теми способами, которые рекомендуются различными СНиП.

Во второй части данного раздела горные породы выступают в качестве грунтов-оснований инженерных сооружений. Грунты характеризуются по различным физико-механическим показателям, определяемым лабораторными и полевыми методами. Выделенные ранее слои, пачки пород и другие геологические тела наделяются свойствами, которые позволяют применять к ним физические теории прочности и устойчивости и делать на их основе соответствующие расчеты.

В третьей, завершающей части раздела излагаются соображения относительно производства работ, несущей способности грунта, осадок основания сооружения, его поведения в процессе возведения и эксплуатации. Прогноз осуществляется отчасти на основе использования расчетного метода механики грунтов. Но важнейшим методом предвидения характера взаимодействия сооружения с геологической средой является геологических аналогий, состоящий в учете опыта возведения зданий и сооружений в аналогичных инженерно-геологических условиях. Необходимость его применения отмечается в строительных нормах и правилах.

Идентификация строительных площадок производится на базе геологического картирования и выявления геологических связей в строении ими сравниваемых участков. Данный научный прием является основным во многих геологических исследованиях, но применительно к инженерным изысканиям разработан еще недостаточно и поэтому использование его в этом случае невелико. Одна из причин последнего - слабый интерес со стороны строителей, мало осведомленных о нем. Мы видим задачу будущих строителей в том, чтобы они всемерно способствовали более широкому и глубокому внедрению метода геологических аналогий как эффективного средства повышения качества инженерно-геологических исследований.

#### **3.1.3.2. Анализ результатов геофизических изысканий.**

Гамма-каротаж позволяет определить плотность пород в стенках скважины. Метод основан на однозначной связи проницаемости пород для радиоактивного гамма-излучения и их плотностью. В скважину при этом опускается снаряд, на одном конце которого смонтирован источник, а на другом - приемник гамма-лучей. Проходя путь от источника до приемника через окружающий грунт вдоль стенки скважины гамма-лучи испытывают затухание,

пропорциональное плотности пород, и интенсивность принимаемого сигнала, непрерывно регистрируемого при опускании снаряда, дает описание плотности по всей глубине скважины.

Сейсмическое профилирование (и сейсмокаротаж) позволяет определить скорость прохождения упругих колебаний в породах, которая находится в корреляционной связи с их прочностными и деформационными свойствами. При сейсмическом каротаже ультразвуковой источник и приемник смонтированы на одном снаряде, опускаемом в скважину, а при профилировании источником колебаний является удар молотом по поверхности грунта или небольшой поверхностный взрыв, а сейсмические приемники располагаются на поверхности вдоль определенной линии (профиля). Сигналы от сеймоприемников записываются регистрирующей аппаратурой, и анализ времени прохождения упругих колебаний от источника до приемников позволяет построить картину напластования пород. Особенно успешно метод сейсмического профилирования используется для определения границы между коренными породами и четвертичными отложениями.

Электрическое зондирование состоит в измерении электрического сопротивления пород между двумя электродами, погруженными в грунт на некотором расстоянии друг от друга. Измерения, проведенные при различном расстоянии между электродами, позволяют судить об электропроводности пород на различной глубине. Особенно успешно этот метод применяется при гидрогеологических исследованиях, поскольку электропроводность грунтов резко изменяется на границе между обводненными и необводненными слоями.

### **3.1.3.3. Анализ результатов определения физико-механических характеристик грунтов.**

Полевые опытные работы и стационарные наблюдения проводятся для определения механических и фильтрационных характеристик пород в условиях их естественного залегания и выявления характера развития тех или иных процессов (режима грунтовых вод, оседания построенных сооружений и т.д.). Штамповые погружения в шурфах и скважинах, сдвиги оконтуренных в массиве грунтовых призм, нагружение стенок скважин внутренним давлением (прессиометрия) позволяют определить показатели сжимаемости и прочности грунтов более достоверно, чем на лабораторных образцах.

При гидрогеологических исследованиях полевые опытные работы и наблюдения являются основным источником информации. Для определения водонепроницаемости пород применяются опытные откачки, нагнетания в скважины, наливывы в шурфы и скважины.

## **Лекция 4. Особенности изысканий для сооружений инженерной защиты и высотных зданий**

### **3.1.4.1. Особенности изысканий для сооружений инженерной защиты**

Инженерно-геологические условия для сооружений инженерной защиты концентрирует данные, характеризующие взаимодействие проектируемого сооружения с геологической средой.

В первой его части отмечаются инженерно-геологические явления, представляющие практически важные следствия естественных геологических процессов, происходящих на застраиваемых территориях (такие как оползни, карст, просадки и т.д.). Проявления геологических процессов с генетической точки зрения должны быть описаны в предыдущих разделах. Здесь же оценивается их влияние на конкретное сооружение теми способами, которые рекомендуются различными СНиП.

### **3.1.4.2. Особенности изысканий для высотных зданий.**

При изысканиях для высотных зданий горные породы выступают в качестве грунтов-оснований инженерных сооружений. Грунты характеризуются по различным физико-механическим показателям, определяемым лабораторными и полевыми методами, с учетом повышенных нагрузок на основание, большей сжимаемой толщи. Выделенные ранее слои, пачки пород и другие геологические тела наделяются свойствами, которые позволяют применять к ним физические теории прочности и устойчивости и делать на их основе соответствующие расчеты.

### **3.1.4.3. Особенности изысканий в стесненных условиях городской застройки.**

Изыскания в стесненных условиях городской застройки завершающей части раздела предполагают соображения относительно производства работ, несущей способности грунта, осадок основания сооружения, его поведения в процессе возведения и эксплуатации. Прогноз осуществляется отчасти на основе использования расчетного метода механики грунтов. Но важнейшим методом предвидения характера взаимодействия сооружения с геологической средой является геологических аналогий, состоящий в учете опыта возведения зданий и сооружений в аналогичных инженерно-геологических условиях. Необходимость его применения отмечается в строительных нормах и правилах.

## **Лекция 5. Мониторинг состояния геологической среды**

Факторы окружающей среды делятся на естественные (природные) и искусственные (антропогенные или техногенные). Естественные факторы определяются действием различных природных компонентов. При этом термином "природа" чаще всего обозначают совокупность объектов и систем материального мира в их естественном состоянии, не являющемся продуктом трудовой деятельности человека. Искусственные факторы возникают в процессе инженерно-хозяйственной деятельности человека,

### **3.1.5.1. Мониторинг гидрогеологической обстановки.**

Часть литосферы, а точнее земной коры, которая непосредственно выступает как минеральная основа биосферы, как один из важнейших компонентов окружающей среды, с конца 70-х годов выделяется под названием геологическая среда. Согласно Е.М. Сергееву (1979) под геологической средой понимается верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамичная система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека и, в свою очередь, в известной степени определяющая эту деятельность. Геологическая среда это подсистема гидролитосферы.

Верхней границей геологической среды является поверхность рельефа (дневная поверхность); нижняя граница — плавающая, неоднородная и неодинаковая по глубине в разных областях Земли. Она определяется глубиной проникновения человека в земную кору в ходе различных видов деятельности. Максимальная глубина проникновения человека вглубь все более увеличивается; в настоящее время сверхглубокое бурение достигло почти 12 км. Таким образом, в геологическую среду включаются почвы и верхние горизонты горных пород, рассматриваемых как многокомпонентные системы. Следует особо подчеркнуть, что границы геологической среды в гидролитосферном пространстве изменяются не только в пространстве, но и во времени по мере развития техногенных процессов и техногенеза в целом. По отношению к геологической среде внешними средами являются атмосфера, поверхностная гидросфера (поверхностные воды) и собственно техносфера, включающая все виды инженерных сооружений и хозяйственных объектов. Соотношение геологической среды с внешними средами показано на рис. 1.

### **3.1.5.2. Мониторинг инженерно-геологической обстановки в районе строительства.**

Внутренними составными частями или основными элементами (компонентами) геологической среды являются (рис. 2): любые горные породы, почвы и искусственные (техногенные) грунты, слагающие массивы той или иной структуры и рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы; рельеф и геоморфологические особенности рассматриваемой территории; подземные воды (подземная гидросфера); геологические и инженерно-геологические процессы и явления, развитые на данной территории.

Геологическая среда в инженерной геологии рассматривается как часть литосферы, взаимодействующая (сейчас или потенциально в будущем) с различными инженерно-хозяйственными объектами или инженерными сооружениями, созданными человеком. Под инженерными сооружениями здесь понимаются любые "техногенные объекты техносферы, созданные человеком в процессе инженерно-хозяйственной деятельности в пределах геологической среды или на ее поверхности, включая открытые или подземные выемки. Термином "хозяйственная деятельность" или "инженерно-хозяйственная деятельность" обычно обозначаются всевозможные, воздействия происходящие в техносфере.

Сами же инженерные сооружения рассматриваются как источники техногенных воздействий той или иной природы на геологическую среду в целом или на ее отдельные элементы (горные породы, рельеф, подземные воды и др.). При этом источником техногенного воздействия не может служить какая-либо инженерно-хозяйственная деятельность человека сама по себе, например, строительная, сельскохозяйственная и т.п. Воздействие оказывается на геологическую среду в результате этой деятельности, и непосредственный источник воздействия, реализуемого в процессе этой деятельности, всегда материален.

## **Лекция 6. Алгоритмы численных решений обработки геологических данных.**

### **3.1.6.1. Многоступенчатые модели инженерных объектов.**

Взаимодействие инженерного сооружения с геологической средой определяется сочетанием типа сооружения с типом среды как принципиально различных по материалу: "материал" геологической среды "живет" по природным законам, а материал инженерного сооружения — по техническим. При этом задача проектировщика (изыскателя, строителя, эксплуатационника) состоит в том, чтобы из этого разнообразного материала создать единую природно-техническую систему (ПТС), функционирующую в оптимальном по некоторым фиксированным критериям режиме. По В.К. Епифану (1985), природно-технической системой называется совокупность инженерного сооружения (комплекса инженерных сооружений) с частью геологической среды в зоне его (их) влияния, имеющей операционально фиксированные границы. Синонимом понятия ПТС, по ряду авторов, является термин "геотехническая система" (ГТС), под которой понимается совокупность взаимодействующие природных и техногенных систем. А.Л. Ревзон (1992) разделяет эти два понятия, считая, что "геотехническая система — совокупность форм взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой, — является частью, подсистемой природно-технической системы. Последняя наряду с геотехнической включает в себя природно-техническую, акватехническую, биотехническую и историко-архитектурную. Таким образом, по А.Л. Ревзону, ГТС представляет собой структурно-функциональную часть ПТС. Г.К. Бондариком было предложено понятие «литотехническая» схема". М.А. Шубиным введено понятие "геосистемы (природно-технической систе-

мы)", ориентированное на комплексирование геосистемного и программно-целевого подходов.

Понятие "геотехническая система" не следует путать с понятием "геолого-техногенная система", под которой М\*С, Голицын и В.Н. Островский понимают часть геологической среды, взаимодействующую с техногенными объектами. Определения геотехнической системы и геолого-техногенной системы подразумевают, что природные и техногенные компоненты взаимодействуют на равных.

### **3.1.6.2. Физическое моделирование в инженерной геологии.**

Анализ существующих схем типизации техногенных воздействий показывает, что их разработка ведется в трех направлениях: 1) по видам хозяйственной деятельности; 2) по набору определенных воздействий на конкретный компонент геологической среды; 3) по комплексу параметров, отражающих природу воздействия.

Одна из первых попыток типизации техногенных воздействий по комплексу признаков была сделана в 1967 г. Ф.В. Котловым. Им выделены категории техногенных воздействий по времени действия, направленности, площади и другим признакам. Кроме того, по воздействию на определенный компонент геологической среды им выделено три вида воздействий на: 1) напряженное состояние пород; 2) тепловое состояние пород и подземных вод; 3) режим поверхностных и подземных вод. В дальнейшем Ф.В. Котлов увязал типизацию техногенных воздействий с классификацией вызванных ими процессов, а затем с изменением природных физических полей. Близка к этой систематизации и схема М. Арну (1984), а также схема выделения признаков типизации, предложенная Е.М. Сергеевым и В.Т. Трофимовым (1985). Разрабатывая это направление, А.Д. Жигалин в 1985 г. предложил подробную классификацию источников и типов техногенного воздействия. Источники воздействия классифицируются им по типам, периодичности, интенсивности, по форме, размерам, положению относительно объекта воздействия. По виду оказываемого источниками воздействия они подразделяются на источники физического, химического, биологического и геологического (!) воздействия, на подвиды — по воздействующим факторам. Однако многие техногенные воздействия в этой классификации не были учтены. Многими авторами предложены частные схемы типизации техногенных воздействий на геологическую среду применительно к определенному виду деятельности: например, для горнодобывающей промышленности или гидротехнической деятельности, для АЭС, для городского строительства и т.д. При этом авторами во многих случаях под понятием "техногенное воздействие" понимались вид хозяйственной деятельности и те процессы, которые возникают как результат этой деятельности. Частные классификации техногенных воздействий, учитывающие источник, характер и результаты воздействия для некоторых видов деятельности, были разработаны Г.А. Голодковской и Ю.Б. Елисеевым (1989).



Характер и интенсивность техногенного воздействия на геологическую среду зависят от особенностей функционирования хозяйственных объектов.

В реальной обстановке воздействия от отдельных источников часто накладываются, суммируются, подавляются и видоизменяются. Это вызывает определенные трудности как при выделении и типизации техногенных воздействий, так и при их картографировании. Одним из главных вопросов при разработке классификации техногенных воздействий является вопрос о признаках типизации или деления. Разрабатывая классификацию техногенных воздействий на геологическую среду В.Т. Трофимовым, В.А. Королевым и А.С. Герасимовой (1995), в ее основу были положены следующие методологические положения:

1. Признаки типизации должны отражать основные черты техногенных воздействий на геологическую среду разной природы; природа воздействия, его механизм должны быть отражены в его основном таксоне — классе. В соответствии с этим выделяются следующие классы воздействий: физическое (в котором выделяются подклассы, обусловленные действием различных физических полей: механического, гидромеханического, гидродинамического, термического, электромагнитного, радиационного), физико-химическое, химическое, биологическое. Воздействия перечисленных классов не сводятся друг к другу и оказываются полем соответствующей природы, техногенного происхождения. Поэтому к характеристике техногенного воздействия данного класса в принципе применимы все показатели, используемые для оценки любого физического поля (интенсивность, геометрические размеры в трехмерном пространстве, стационарность или нестационарность поля во времени и т.д.).

### **3.1.6.3. Численное моделирование изменений инженерно-геологической среды.**

2. В таксономическом ряду воздействий целесообразно выделить класс (подкласс), тип, вид и разновидность воздействия. Класс выделяется по природе (механизму) воздействия; тип — по характеру воздействия с учетом симметрии "прямого" и "обратного" действия (например, охлаждение - нагревание, уплотнение - разуплотнение и т.д.) безотносительно к источнику воздействия; вид воздействия — по конкретному техногенному влиянию, оказываемому тем или иным источником, раскрывающим его индивидуальность; разновидность воздействия может быть выделена по дополнительным частным признакам таким, как временной характер воздействия, геометрические размеры, положение в пространстве, обратимость, интенсивность воздействия, и т.п.

3. Все выделяемые таксоны не должны зависеть от иерархического уровня рассмотрения геологической среды, поскольку один и тот же тип или вид воздействия может проявляться на разных масштабных или иерархических уровнях. В соответствии с этим классификация техногенных воздействий должна исходить из единого методологического подхода независимо от масштабного уровня инженерно-геологических исследований, при этом при-

переходит от одного уровня исследований к другому должна выдерживаться преемственность в осуществлении этого перехода.

4. Выделяемый вид (разновидности) воздействия должен характеризоваться конкретными количественными параметрами, отражающими его особенности, а также однозначно соотноситься с источником, его вызывающим и обуславливающим; он должен быть легко типизируемым для картографирования. Геометрические показатели техногенных воздействий, отражающие размеры зоны влияния (мощность, глубина, ширина, площадь, объем воздействия и др.), могут не включаться в таблицу типизации в качестве показателей (параметров) того или иного воздействия. Эти показатели применимы для характеристики зон влияния видов и разновидностей.

5. В типизации должны быть учтены первичные" техногенные воздействия, непосредственно влияющие на основные компоненты геологической среды: горные породы, почвы и искусственные грунты, рельеф территории, геодинамические процессы. Многие техногенные воздействия, влияющие на геодинамические процессы, оказываются по отношению к ним "вторичными" и проявляются через воздействия на породы, рельеф и подземные воды. Компоненты геологической среды, на которые оказывается непосредственное влияние данным техногенным воздействием, должны быть отражены в типизации для каждого вида.

6. Использование в типизации таких признаков деления, которые могут быть общими для всех типов воздействия, является нецелесообразным (например, таких признаков воздействий, как "постоянные и временные", "площадные и точечные", "прямые и косвенные" и т.д.). Все эти признаки деления могут и должны использоваться при выделении разновидностей воздействий.

В соответствии с указанными принципами была составлена классификация техногенных воздействий на геологическую среду, приведенная в табл. 3. В этой классификации первый класс техногенных воздействий на геологическую среду объединяет воздействия физической природы, Это самый большой и разнообразный класс, состоящий из шести подклассов, К подклассу механического воздействия относятся техногенные воздействия на геологическую среду, оказываемые механическим путем без применения гидромеханизмов. Механическое воздействие передается на породы, рельеф и влияет на некоторые геодинамические процессы, но не передается непосредственно на подземные воды. В этом подклассе выделяются следующие шесть типов воздействий: уплотнение и разуплотнение, внутреннее (т.е. происходящее без изменения рельефа) разрушение массива и воздействия, происходящие с разрушением и переотложением грунтов и приводящие к изменению рельефа\* планировка рельефа, техногенная "аккумуляция" (образование положительных форм) и "эрозия" (образование отрицательных форм) рельефа.

К подклассу Гидромеханических воздействий, в отличие от предыдущего, относятся механические, осуществляемые с помощью гидромеханизмов. Эти воздействия в основном передаются непосредственно на породы,

рельеф и связаны с геодинамическими, но не передаются непосредственно на подземные воды. В этом подклассе выделяется всего два типа: гидроаккумуляция рельефа (образование положительных форм) и гидроэрозия (образование отрицательных форм) рельефа

Подкласс гидродинамических объединяет собственно гидродинамические воздействия на подземные воды, на их гидродинамический режим. Они влияют как на вещественные компоненты геологической среды (горные породы и подземные воды), так и на геодинамические процессы. При этом изменения рельефа проявляются в результате активизации геодинамических процессов. К этому подклассу относятся воздействия двух типов: ведущие к повышению напора или уровня подземных вод, ведущие к их понижению. К следующему подклассу отнесены техногенные воздействия термической природы, т.е. обусловленные действием положительных или отрицательных тепловых полей. Термическое техногенное воздействие вне криолитозоны в основном влияет непосредственно лишь на вещественные элементы геологической среды: горные породы и подземные воды и почти не влияет на рельеф и геодинамические процессы. В пределах же криолитозоны это воздействие оказывается одним из ведущих, существенно влияющим на все без исключения компоненты геологической среды, включая рельеф и различные геодинамические процессы. В этом подклассе выделено два типа воздействий: нагревание и охлаждение компонентов геологической среды.

#### **3.1.6.4. Современные приборы и оборудование для мониторинга инженерно-геологической среды.**

Для характеристики микробиологического и бактериологического техногенного загрязнения используются, в частности, такие санитарно-гигиенические показатели, как ВПК, коли-индекс и коли-титр. ВПК — это биохимическая потребность в кислороде, косвенный показатель содержания нестойких, легко окисляющихся органических веществ в воде водоемов и в сточных водах. Коли-индекс, коли-титр — это количественные показатели фекального загрязнения воды, продуктов, почвы, грунта и других объектов окружающей среды, основанные на исследовании содержания в них кишечной палочки. Таким образом, концентрация загрязнителя более подходит к характеристике измененное<sup>TM</sup> геологической среды в результате загрязнения, а не для самого химического воздействия на геологическую среду. Весьма сложной является проблема разработки интегрального показателя, который бы учитывал все виды воздействия на геологическую среду. Ценность такого показателя в практическом отношении определяется тем, что с его помощью было бы гораздо проще строить интегральные карты измененности геологической среды или интегральные карты техногенной нагрузки на геологическую среду: все воздействия оценивались бы, в одной и той же размерности, а значит были бы сопоставимы и сравнимы друг с другом. Таким показателем могла бы быть удельная энергия или мощность техногенного воздействия, рассмотренная выше. Однако, поскольку техногенные воздействия имеют разную природу и механизм действия, поскольку они оказывают

свое непосредственное влияние на различные элементы геологической среды, то, оценив в итоге тем или иным способом интегральный показатель техногенного воздействия мы, ничего не добьемся для его практического использования, поскольку будет неясно, какая часть энергии затрачивается на изменение пород, какая на подземные воды, какая тратится на преобразование рельефа и т.д.

В связи с этим, для того чтобы избавиться от размерностей показателей вообще и тем самым упростить их использование в картографических целях, проводят нормирование значений показателей, переводя их разными способами в безразмерные, чаще всего относительные величины. Для этого можно, например, разделить частное значение какого-либо размерного показателя на его фоновое значение или на максимальное (минимальное) значение (см. также разд. 4.4).

В связи с разработкой интегральных показателей техногенного воздействия на геологическую среду важной проблемой является оценка так называемых предельно допустимых уровней техногенного воздействия (ПДУ). Очевидно, для оценки ПДУ надо разработать соответствующие критерии, позволяющие определять тот или иной уровень воздействия. Пока такие критерии, как и ПДУ, не разработаны, однако, в рамках мониторинга геологической среды можно подойти к решению этой проблемы. Большинство авторов в настоящее время считает, что в основу оценки ПДУ должны быть положены критерии оценки устойчивости геологической среды или ее элементов к техногенным воздействиям.

### **3.1.6.5. Перспективы развития мониторинга.**

Понятие мониторинга окружающей среды было впервые введено Р. Мэнном в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН и с тех пор постоянно развивается и обсуждается на различных международных конгрессах и совещаниях. На Стокгольмской конференции ООН мониторингом окружающей среды было предложено называть систему повторных наблюдений одного и более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой. Однако вскоре стало ясно, что такое определение сужает рамки содержания мониторинга и не позволяет во всей полноте раскрыть его цели и задачи.

У нас в стране одним из первых теорию мониторинга стал разрабатывать Ю.А. Израэль. Уточняя определение мониторинга окружающей среды, Ю.А. Израэль сделал акцент не только на наблюдении, но и на прогнозе, введя в определение термина "мониторинг окружающей среды" антропогенный фактор как основную причину этих изменений. Мониторингом окружающей среды он называет систему наблюдений, оценки и прогноза антропогенных изменений состояния окружающей природной среды. "Мониторинг — это система наблюдений, позволяющая выделить изменения биосферы под влиянием человеческой деятельности (мониторинг антропогенных изменений окружающей среды)" (Израэль, 1974).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Тер-Степанян Г. И. Геологические явления и процессы в техногене // Проблемы геомеханики, 1988, № 10, с. 3–57.

Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л., Недра, 1977. – 479 с.

Коновалов П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. – М.: ВНИИГТПИ, 2000. – 318 с.

Полищук А. И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий. – Нортхэмптон–Томск: 2007. – 476 с.

Сорочан Е. А. Фундаменты промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1986. – 303 с.

Дегтярев Б. М. Дренаж в промышленном и гражданском строительстве. – М.: Стройиздат, 1990. – 238 с.

Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. Справ. Пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1991. – 272 с.

СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. – М.: 2011. – 161 с.

Основы инженерной геологии, грунтоведения и механики грунтов: Учеб. пособие к выполнению курсовой работы «Определение устойчивости откосов земляных плотин, береговых склонов и глубоких выемок»/ Ю. П. Васильев, В. В. Денисенко, П. А. Ляшенко. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2007. – 81 с.

Определение устойчивости откосов земляных плотин, береговых склонов и глубоких выемок (Основы инженерной геологии, грунтоведения и механики грунтов): Ю. П. Васильев, В. В. Денисенко, П. А. Ляшенко, Т. В. Любимова. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2011. – 106 с.

Королев В. А. Мониторинг геологической среды: Учебник / Под редакцией В. Т. Трофимова. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — 272 с.

Трофимов В. Т. и др. Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии // Проблемы рационального использования геол. среды. М.: Наука, 1988. С. 37-61.

Котлов Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека, М.: Недра, 1978. 263 с.

Израэль Ю. А. Философия мониторинга // Метеорология и гидрология. 1990. № 6. С. 5-10

## 3 Содержание дисциплины

### 3.1 Содержание лекций

№ темы лекции	Наименование и содержание темы лекции
1	<p><b>3.1.1. Введение. Организация и планирование инженерно-геологических работ</b></p> <p>3.1.1.1. Основные понятия об инженерно-геологическом обосновании строительства. Влияние деятельности человека на геологические процессы. Сравнение геологической деятельности человека и природных геологических процессов.</p> <p>3.1.1.2. Инженерно-геологические процессы и явления.</p>
2	<p><b>3.1.2. Полевые и лабораторные исследования горных пород и подземных вод</b></p> <p>3.1.2.1. Задачи и объем инженерно-геологических исследований. Выбор эффективных методов инженерно-геологической разведки.</p> <p>3.1.2.2. Инженерно-геологическая съемка, разведка, геофизические работы.</p> <p>3.1.2.3. Полевые испытания грунтов, стационарные наблюдения, лабораторные работы.</p> <p>3.1.2.4. Инженерно-геологические карты, разрезы, описание грунтов.</p> <p>3.1.2.5. Выделение инженерно-геологических элементов.</p>
3	<p><b>3.1.3. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий и принятие технических решений для подземных частей зданий и сооружений</b></p> <p>3.1.3.1. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий.</p> <p>3.1.3.2. Анализ результатов геофизических изысканий.</p> <p>3.1.3.3. Анализ результатов определения физико-механических характеристик грунтов.</p>
4	<p><b>3.1.4. Особенности изысканий для сооружений инженерной защиты и высотных зданий</b></p> <p>3.1.4.1. Особенности изысканий для сооружений инженерной защиты</p> <p>3.1.4.2. Особенности изысканий для высотных зданий.</p> <p>3.1.4.3. Особенности изысканий в стесненных условиях городской застройки.</p>
5	<p><b>3.1.5. Мониторинг состояния геологической среды</b></p> <p>3.1.5.1. Мониторинг гидрогеологической обстановки.</p> <p>3.1.5.2. Мониторинг инженерно-геологической обстановки в районе строительства.</p>
6	<p><b>3.1.6. Алгоритмы численных решений обработки геологических данных.</b></p> <p>3.1.6.1. Многоступенчатые модели инженерных объектов.</p> <p>3.1.6.2. Физическое моделирование в инженерной геологии.</p> <p>3.1.6.3. Численное моделирование изменений инженерно-геологической среды.</p> <p>3.1.6.4. Современные приборы и оборудование для мониторинга инженерно-геологической среды.</p> <p>3.1.6.5. Перспективы развития мониторинга.</p>